

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ

до виконання практичної, самостійної
та розрахунково-графічної роботи
з навчальної дисципліни

«ЕНЕРГО- ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ У
ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВАХ»

*(для студентів I курсу денної форм навчання другого (магістерського)
рівня вищої освіти за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія)*

Харків
ХНУМГ ім. О. М. Бекетова
2020

Методичні рекомендації до виконання практичної, самостійної та розрахунково-графічної роботи з навчальної дисципліни «Енерго- та ресурсозбереження у хімічних виробництвах» (для студентів 1 курсу денної форми навчання другого (магістерського) рівня вищої освіти за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія) / Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова ; уклад. : Г. К. Воронов, О. В. Саввова, Ю. О. Смирнова, О. І. Фесенко. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. – 31 с.

Укладачі: канд. техн. наук, доц. Г. К. Воронов,
д-р техн. наук, доц. О. В. Саввова,
канд. техн. наук, ст. викл. Ю. О. Смирнова,
канд. техн. наук, асист. О. І. Фесенко

Рецензент

Т. Д. Панайотова, кандидат хімічних наук, доцент кафедри хімії та інтегрованих технологій Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова

Рекомендовано кафедрою хімії та інтегрованих технологій, протокол № 1 від 28.08.2019.

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Визначення мінерального складу сировини розрахунковим шляхом.....	5
1.1 Розрахунок мінерального складу сировини за її хімічним складом	5
1.2 Розрахунок мінерального складу технологічних сумішей за мінеральним складом сировини	9
2 Втрати тепла через стінки скловарної печі.....	13
Список рекомендованої літератури.....	24
Додаток А Довідкові дані про хімічний склад сировинних матеріалів.....	25

ВСТУП

Методичні рекомендації розроблені в межах учбового курсу «Енерго- та ресурсозбереження у хімічних виробництвах» для закріплення теоретичних знань щодо застосовування сучасних сировинних матеріалів в технологіях архітектурно-будівельних керамічних виробів та скломатеріалах.

Для виготовлення різних видів кераміки та скловиробів використовують технологічні суміші вихідних матеріалів або шихти. Шихта, як правило, складається з декількох сировинних матеріалів, кількість яких у шихті виражається в масових відсотках по відношенню до загальної маси шихти.

При проведенні таких розрахунків виходять з того, що якісний хімічний склад кінцевого продукту відповідає якісному хімічному складу шихти. З позицій ресурсозбереження треба знати, як правильно підібрати альтернативний замінник традиційному сировинному матеріалу та яку його кількість потрібно ввести до складу шихти.

Мета даних рекомендацій – набуття навичок застосовування знань та розуміння щодо вибору та прогнозування впливу складових компонентів на експлуатаційні властивості керамічних матеріалів та скломатеріалів, а також спроможності оцінювати можливість використання техногенної сировини та її вплив на властивості кінцевого продукту.

Також розглянуто можливість розрахункової оцінки ефективності теплоізоляційних матеріалів при конструюванні теплотехнічних агрегатів силікатної промисловості.

Рекомендації розраховані на студентів, які проходять підготовку за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія.

1 ВИЗНАЧЕННЯ МІНЕРАЛЬНОГО СКЛАДУ СИРОВИНИ РОЗРАХУНКОВИМ ШЛЯХОМ

1.1 Розрахунок мінерального складу сировини за її хімічним складом

Мінеральний склад сировинних матеріалів – це те ж саме, що і раціональний склад. Розраховуючи раціональний склад сировини за її хімічним складом, виходять з типового хімічного та мінерального складу сировинних матеріалів, які пройшли практичну перевірку при їх використанні. При цьому дотримуються деяких умовних допущень:

- глини та каоліни містять як глинисту речовину тільки каолініт, а іншими їхніми складовими є кварц та польові шпати;
- якщо кількість Na_2O порівняно з K_2O є незначною, то їх вміст сумують і розраховують кількість ортоклазу. І навпаки, якщо кількість Na_2O є значно більшою, ніж K_2O , то за їх сумою розраховують кількість альбіту;
- зважаючи на те, що в технології тонкої кераміки не використовують глинисту речовину зі значним вмістом оксидів заліза, титану, кальцію та магнію, розрахунки мінералів, які містять названі оксиди, не виконують.

Послідовність розрахунків для визначення раціонального складу глинистої сировини є такою:

- 1) обчислити вміст польових шпатів за кількістю оксидів K_2O , Na_2O у 100 масових частках (мас. ч.) глинистої сировини;
- 2) розрахувати вміст Al_2O_3 та SiO_2 , які входять до складу знайденої кількості польових шпатів;
- 3) визначити вміст каолініту за кількістю Al_2O_3 , яка не увійшла до складу польових шпатів;
- 4) знайти вміст SiO_2 , який входить до складу визначеної кількості каолініту;
- 5) обчислити вміст вільного SiO_2 у 100 мас. ч. глинистої сировини.

Приклад розрахунку

Розрахунок мінерального складу сировинних матеріалів розглядається на прикладі Артемівської глини, хімічний склад якої наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Хімічний склад глини за даними хімічного аналізу

Сировинний матеріал	Вміст оксидів, мас. %						
	SiO ₂	Al ₂ O ₃ + TiO ₂	MgO	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	в. п. п.
Глина Артемівська	49,0	36,7	0,6	0,1	0,8	1,0	11,8

Спершу знаходимо вміст польових шпатів (альбіту Na₂O·Al₂O₃·6SiO₂ та ортоклазу K₂O·Al₂O₃·6SiO₂) за кількістю оксидів Na₂O і K₂O. Для цього спочатку необхідно визначити молекулярні маси відповідних оксидів та сполук. Кількість ортоклазу у 100 мас. ч. глини розраховуємо з пропорції:

94 г/моль K₂O міститься у 556 г/моль ортоклазу;

1 мас. ч. K₂O міститься в X мас. ч. ортоклазу.

Отже, $X = (556 \cdot 1) / 94 = 5,9$ мас. ч. ортоклазу.

Кількість альбіту у 100 мас. ч. глини обчислюємо з пропорції:

62 г/моль Na₂O міститься у 524 г/моль альбіту;

0,8 мас. ч Na₂O міститься в X мас. ч. альбіту.

Звідси $X = (524 \cdot 0,8) / 62 = 6,8$ мас. ч. альбіту.

Далі визначаємо кількість Al₂O₃ та SiO₂, які містяться у знайденій кількості польових шпатів. Відповідно до молекулярної маси ортоклазу (556 г/моль):

102 г/моль Al₂O₃ міститься у 556 г/моль ортоклазу;

X_1 мас. ч. Al₂O₃ міститься у 5,9 мас. ч. ортоклазу.

Таким чином $X_1 = (5,9 \cdot 102) / 556 = 1,1$ мас. ч. Al₂O₃.

360 г/моль SiO₂ міститься у 556 г/моль ортоклазу;

X_2 мас. ч. SiO₂ міститься у 5,9 мас. ч. ортоклазу.

Таким чином $X_2 = (5,9 \cdot 360) / 556 = 3,8$ мас.ч. SiO₂.

Відповідно до молекулярної маси альбіту (524 г/моль) складаємо пропорції для визначення кількості Al_2O_3 та SiO_2 , які містяться у знайденій раніше кількості альбіту:

102 г/моль Al_2O_3 міститься у 524 г/моль альбіту;

X_3 мас. ч. Al_2O_3 міститься у 6,8 мас. ч. альбіту.

Звідси $X_3 = (6,8 \cdot 102) / 524 = 1,3$ мас.ч. Al_2O_3 .

360 г/моль SiO_2 міститься у 524 г/моль альбіту;

X_4 мас. ч. SiO_2 міститься у 6,8 мас. ч. альбіту.

Отже $X_4 = (6,8 \cdot 360) / 524 = 4,7$ мас.ч. SiO_2 .

Далі обчислюємо сумарну кількість SiO_2 та Al_2O_3 , які входять до складу польових шпатів:

$\text{Al}_2\text{O}_3 = X_1 + X_3 = 1,1 + 1,3 = 2,4$ мас. ч.;

$\text{SiO}_2 = X_2 + X_4 = 3,8 + 4,7 = 8,5$ мас. ч.

Звідси можна зробити висновок, що Al_2O_3 входить до складу каолініту у такий кількості:

$36,7 - 2,4 = 34,3$ мас. ч. Al_2O_3 .

Розраховуємо вміст каолініту $\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ у 100 мас.ч. глини за кількістю Al_2O_3 . Виходячи з молекулярної маси каолініту (258 г/моль), складаємо пропорцію:

102 г/моль Al_2O_3 міститься у 258 г/моль каолініту;

34,3 мас. ч. Al_2O_3 міститься у X г/моль каолініту.

Знаходимо: $X = (34,3 \cdot 258) / 102 = 86,7$ мас. ч. каолініту.

Визначаємо вміст SiO_2 , зв'язаного в цій кількості каолініту, за пропорцією:

120 г/моль SiO_2 міститься у 258 г/моль каолініту;

X мас. ч. SiO_2 міститься у 86,7 мас. ч. каолініту.

Звідси $X = (120 \cdot 86,7) / 258 = 40,3$ мас. ч. SiO_2 .

Нарешті, знаходимо вміст вільного кварцу у 100 мас.ч. глини, віднімаючи від кількості SiO_2 у сухій глині кількість SiO_2 , яка входить до складу польових шпатів та каолініту:

$$49,0 - 8,5 - 40,3 = 0,2 \text{ мас. ч. вільного кварцу.}$$

Мінеральний склад глини (у масових частках) є таким:

ортоклаз – 5,9

альбіт – 6,8

каолініт – 86,7

кварц – 0,2

$$\Sigma = 99,6 \text{ мас. ч.}$$

Після перерахування на 100 % отримуємо шихтовий склад маси, мас. %:

ортоклаз – 5,95

альбіт – 6,9

каолініт – 87,05

кварц – 0,2

$$\Sigma = 100 \text{ мас. \%}$$

Контрольні завдання

1. Розрахунковим шляхом визначте мінеральний склад глини такого хімічного складу (мас. %): SiO_2 – 49; Al_2O_3 – 36,7; Na_2O – 0,9; MgO – 0,6; K_2O – 1; Fe_2O_3 – 0,06; в.п.п. – 11,74.

2. Розрахунковим шляхом визначте мінеральний склад кварцових відходів процесу збагачення каоліну. Хімічний склад кварцових відходів (мас. %): SiO_2 – 74,95; Al_2O_3 – 23,5; Na_2O – 0,25; K_2O – 0,4; Fe_2O_3 – 0,5; TiO_2 – 0,3; CaO – 0,1.

3. Визначте мінеральний склад каоліну такого хімічного складу (мас. %): SiO_2 – 47; Al_2O_3 – 38; Na_2O – 1,5; Fe_2O_3 – 0,5; TiO_2 – 0,5; CaO – 0,5; в. п. п. – 12.

4. Розрахунковим шляхом знайдіть мінеральний склад пегматиту такого хімічного складу, (мас. %): SiO_2 – 74; Al_2O_3 – 15; Na_2O – 3,5; K_2O – 6; Fe_2O_3 – 0,5; в. п. п. – 1,0.

5. Розрахунковим шляхом визначте мінеральний склад глини Веселовського родовища (хімічний склад глини див. табл. А1 додатка А).

6. Розрахунковим шляхом знайдіть мінеральний склад глини Дружківського родовища (хімічний склад глини див. табл. А1 додатка А).

7. Розрахунковим шляхом визначте мінеральний склад граніту такого хімічного складу (мас. %): $\text{SiO}_2 - 76$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 13$; $\text{Na}_2\text{O} - 2,5$; $\text{K}_2\text{O} - 5,2$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 2,5$; в. п. п. – 1,0.

1.2 Розрахунок мінерального складу технологічних сумішей за мінеральним складом сировини

Для розрахунку мінерального складу технологічної суміші необхідно спочатку розрахувати мінеральний склад всіх сировинних матеріалів, з якої складається суміш. Далі визначається кількість компонентів мінерального складу суміші як сумарна кількість цих компонентів, які містяться у кожному з сировинних матеріалів, що входять до складу суміші. Взагалі мінеральний склад технологічної суміші може бути виражений такою формулою:

$$P_n = \frac{\sum P_{n_i} \cdot X_i}{100}, \quad (1.1)$$

де P_n – вміст n -го мінералу у складі суміші, мас. %;

P_{n_i} – вміст n -го мінералу у складі i -го сировинного матеріалу, мас. %;

X_i – вміст i -го сировинного матеріалу у шихтовому складі суміші, мас. %.

Приклад розрахунку

Шихтовий склад керамічної маси, мас. %: глина Артемівська – 15,0; каолін Просянівський – 20,0; пегматит Грузливецький – 30,0; пісок Авдіївський – 35,0. Необхідно визначити її мінеральний склад.

За методикою, наведеною в підрозділі 1.1, здійснюємо розрахунок мінерального складу кожного з компонентів технологічної суміші. Результати розрахунків наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Мінеральний склад сировинних матеріалів

Сировинний матеріал	Вміст мінералів у складі сировини, %			
	альбіт	ортоклаз	каолініт	кварц
Глина Артемівська	6,93	7,02	84,02	2,03
Каолін Просянівський	0,76	1,18	92,79	5,27
Пегматит Грузливецький	26,04	39,16	5,75	29,15
Пісок Авдіївський	2,46	0,69	0,67	96,18

Надалі з використанням цих даних за формулою (1.1) визначаємо мінеральний склад керамічної маси з урахуванням вмісту кожного компонента (глини, каоліну, пегматиту та піску) та їх мінерального складу. Розрахунки зручно проводити в табличному вигляді (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 – Вихідні дані для розрахунків та кінцевий мінеральний склад керамічної маси

Сировинний матеріал	Вміст матеріалу в шихті	Вміст мінералів у складі сировини, %				Вміст мінералів у складі керамічної маси, %			
		альбіт	ортоклаз	каолініт	кварц	альбіт	ортоклаз	каолініт	кварц
Глина Артемівська	15,0	6,93	7,02	84,02	2,03	1,04	1,05	12,60	0,30
Каолін Просянівський	20,0	0,76	1,18	92,79	5,27	0,15	0,24	18,56	1,05
Пегматит Грузливецький	30,0	26,04	39,16	5,75	29,15	7,81	11,75	1,72	8,74
Пісок Авдіївський	35,0	2,46	0,69	0,67	96,18	0,86	0,24	0,23	33,66
Всього	—	—	—	—	—	9,86	13,28	33,11	43,75

Розрахунок виконано правильно, якщо сумарний вміст мінералів у складі технологічної суміші дорівнює 100 %.

Контрольні завдання

1. Розрахувати шихтовий склад керамічної маси за її мінеральним складом і мінеральним складом сировини. Мінеральний склад маси: каолініт – 50 мас. ч., польові шпати – 17 мас. ч., кварц – 34 мас. ч. Хімічний склад сировини дивись у таблицях А1 – А4 додатка А.

2. Визначити мінеральний склад керамічної маси за складом шихти та мінеральним складом сировинних матеріалів, якщо до складу технологічної

суміші входять (мас. %): каолін – 22; глина – 18; пегматит – 25; кварцовий пісок – 35. Хімічний склад сировини дивись у таблицях таблицях А1 – А4 додатка А.

3. Розрахувати мінеральний склад технологічної суміші за її шихтовим складом та мінеральним складом сировини. Хімічний склад сировинних матеріалів подано в таблиці 1.4. Варіанти завдань наведено в таблиці 1.5.

Таблиця 1.4 – Хімічний склад сировинних матеріалів

Сировинні матеріали	Вміст, мас. %								
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	в.п.п
Глина Веселовська	56,1	29,83	–	1,05	1,0	0,5	0,49	2,22	8,79
Глина Дружківська	50,1	34,3	1,05	0,7	0,56	0,6	2,68	0,5	7,37
Глина Часів-Ярська	58,3	17,1	0,7	0,41	0,1	0,15	0,72		3,6
Каолін Просянівський	46,0	37,3	0,45	0,3	0,5	0,2	0,25	0,1	12,7
Каолін Глуховецький	45,6	39,0	0,4	0,5	0,25	0,1	0,95	0,25	12,95
Каолін Положський	45,7	37,1	0,83	0,62	–	–	0,08	0,2	11,75
Польовий шпат Єлисеївський	61,5	16,1	–	0,06	0,12	0,02	8,65		0,08
Пегматит Чупінський	73,8	15,01	–	0,35	0,7	0,45	9,17		0,34
Польовий шпат Криворізький	73,4	13,0	–	0,08	1,97	0,1	5,55	4,0	1,9
Пегматит Криворізький	99,4	0,1	–	0,005	–	–	–		0,13
Пісок Авдіївський	98,3	0,7	0,43	–	0,51	–	–		0,08
Пісок Нововодолазький	98,5	0,1	0,1	–	0,26	0,23	–		0,2

Таблиця 1.5 – Варіанти завдань (шихтовий склад керамічної маси)

Сировинні матеріали	Варіант завдання							
	1	2	3	4	5	6	7	8
Глина Веселовська	21,0	–	–	27,4	–	–	–	31,2
Глина Дружківська	–	31,2	–	–	25,26	–	21,0	–
Глина Часів-Ярська	–	–	31,0	–	–	27,81	–	–
Каолін Просянівський	29,5	–	–	25,6	–	–	–	28,1
Каолін Глуховецький	–	28,1	–	–	–	31,28	–	–
Каолін Положський	–	–	26,5	–	32,32	–	29,5	
Польовий шпат Єлисеївський	–	–	20,0	–	22,22	–	–	20,8
Пегматит Чупінський	26,3	–	–	24,6	–	19,26	–	–
Пегматит Криворізький	–	20,8	–	–	–	–	26,3	–
Пісок Авдіївський	23,2	–	–	22,4	–	19,26	–	–
Пісок Нововодолазький	–	19,4	22,5	–	20,20	–	23,2	23,2

2 ВТРАТИ ТЕПЛА ЧЕРЕЗ СТІНКИ СКЛОВАРНОЇ ПЕЧІ

При розрахунку печей одне із питань, що доводиться вирішувати, – це визначення втрат тепла стінками печі. У процесі роботи печі внутрішня поверхня стінок нагрівається гарячими газами випромінюванням і конвекцією; звідси тепло передається теплопровідністю через стінку на її зовнішню поверхню, що випромінюванням і конвекцією втрачає тепло в атмосферу.

Кладка стінок сучасних печей звичайно робиться багатошаровою: вогнетрив + теплоізоляція.

На рисунку 2.1 наведена схема передачі тепла теплопровідністю через просту плоску стінку ($\lambda = \text{const}$) поверхнею $F \text{ м}^2$, товщиною $S \text{ м}$, з температурою поверхні: внутрішньої t_1 і зовнішньої t_2 . Очевидно, що якщо $t_1 > t_2$, то в стінці виникає тепловий потік (у напрямку від t_1 до t_2). При цьому кількість тепла, передана через стінку за час τ , визначається за формулою:

$$Q_{cm} = \frac{\lambda \cdot (t_1 - t_2) \cdot F \cdot \tau}{S}, \text{Вм} , \quad (2.1)$$

де λ – коефіцієнт теплопровідності матеріалу стінки, $\text{Вт/м} \cdot ^\circ\text{C}$;

$\frac{t_1 - t_2}{S}$ – температурний градієнт, що показує спад температури на 1 м довжини шляху теплового потоку, $^\circ\text{C/м}$.

Підставивши у формулу замість S значення $S/\lambda = R$, яке називається термічним опором стінки, одержимо її в іншому виді

$$Q_{cm} = \frac{\lambda \cdot (t_1 - t_2) \cdot F \cdot \tau}{S} = \frac{(t_1 - t_2) \cdot F \cdot \tau}{R}, \text{Вм} . \quad (2.2)$$

Величина, зворотна термічному опору $K = 1/R = \lambda/S$ називається коефіцієнтом теплопередачі теплопровідністю, $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{град}$. Після введення $K = \lambda/S$ в формулу вона буде мати такий вигляд:

$$Q_{cm} = K \cdot (t_1 - t_2) \cdot F \cdot \tau, \text{Вм} . \quad (2.3)$$

Кількість тепла, що проходить через 1 м^2 поверхні стінки, називається тепловим потоком q :

$$q = K \cdot (t_1 - t_2), \text{ Вт/м}^2 \quad (2.4)$$

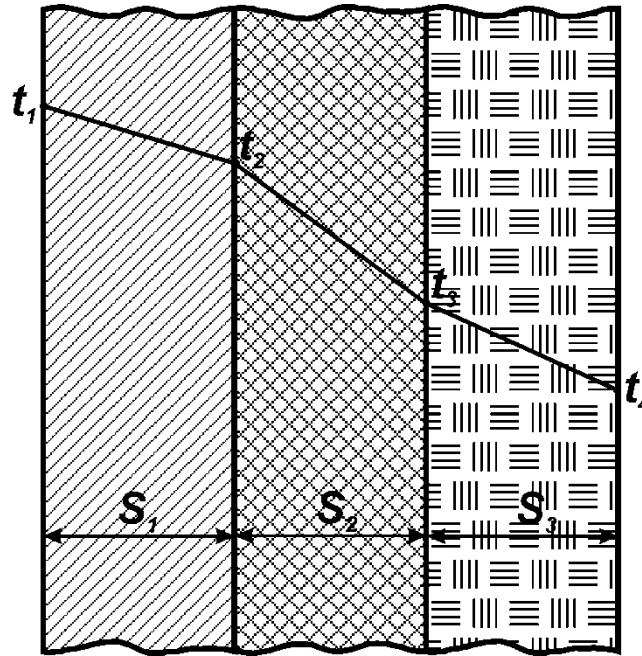


Рисунок 2.1 – Схема передачі тепла теплопровідністю через тришарову стінку

Коефіцієнт, теплопровідності. Мірою теплопровідності різних матеріалів є коефіцієнт теплопровідності λ , що визначається дослідним шляхом; він залежить від властивостей матеріалу й температури. Найбільшу теплопровідність мають метали та їхні сплави, найменшою – теплоізоляційні матеріали внаслідок їхньої великої пористості.

Величина коефіцієнта теплопровідності коливається в широких межах: для металів $\lambda = 10\text{--}360 \text{ Вт/м}\cdot\text{град}$, а для теплоізоляційних матеріалів $\lambda = 0,01\text{--}0,1 \text{ Вт/м}\cdot\text{град}$.

Теплопровідність матеріалів зі зміною температури змінюється по-різному. У матеріалів із щільною кристалічною структурою (метали й деякі мінерали) з підвищенням температури теплопровідність звичайно

зменшується. Теплопровідність багатопоруватих матеріалів (шамот, червона цегла тощо) з підвищенням температури також зменшується.

Звичайне значення λ визначається при температурі t_{cp} – середньої між t_1 і t_2 , тобто $t_{cp} = \frac{t_1 + t_2}{2}$.

Теплопередача через стінку теплопровідністю для стаціонарного стану температур записується в такий спосіб:

$$q = \frac{\lambda \cdot (t_1 - t_2)}{S}, \text{ Вт/м}^2. \quad (2.5)$$

Температура t_2 для кожного елемента S по товщині стінки є залежним від температури внутрішньої поверхні t_1 коефіцієнта теплопровідності матеріалу стінки λ (Вт/м·град) та величини теплового потоку q (Вт/м²).

Стаціонарний стан температур в стінках печей настає через якийсь час після прогріву печі при безперервній її роботі з постійним тепловим режимом.

У цьому випадку для однорідної стінки при відомій величині теплового потоку q (див. рис. 1) температура t_2 на відстані S від поверхні стінки буде дорівнює:

$$t_2 = t_1 - q \cdot \frac{S}{\lambda}, \quad (2.6)$$

де S/λ термічний опір шару S .

При $\lambda = \text{const}$ рівняння дає прямолінійний розподіл температур по товщині стінки. Однак коефіцієнт теплопровідності λ залежить від температури, тому фактичний розподіл температур стінки при стаціонарному стані не буде відповідати прямої лінії.

Для багат шарової стінки, що складається з різних матеріалів з різними коефіцієнтами теплопровідності, розподіл температур по товщині стінки може бути представлено ламаною лінією. При цьому звичайно приймають середні значення коефіцієнта теплопровідності для кожного шару матеріалу.

Температуру зовнішньої поверхні багат шарової стінки можна визначити за формулою:

$$t_n = t_1 - q \cdot \left(\frac{S_1}{\lambda_1} + \frac{S_2}{\lambda_2} + \frac{S_3}{\lambda_3} \right), \text{град} \quad (2.7)$$

а температуру на межі між шарами по формулах:

$$t_i = t_1 - q \cdot \frac{S_1}{\lambda_1}; \quad t_i = t_2 - q \cdot \frac{S_2}{\lambda_2} \quad \text{і т.д.} \quad (2.8)$$

Тепловий потік від одного середовища з температурою $t_{\text{газ}}$ до іншої з температурою $t_{\text{нав}}$ через багат шарову стінку визначається по формулі:

$$Q = \frac{0,001}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{S_1}{\lambda_1} + \frac{S_2}{\lambda_2} + \frac{1}{\alpha_2}} (t_{\text{газ}} - t_{\text{нав}}) \cdot F, \text{кВт} \quad (2.9)$$

де α_1 – коефіцієнт тепловіддачі від газів (або іншого середовища) до стінки, що враховує випромінювання газів і конвекцію, $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{град}$;

α_2 – коефіцієнт тепловіддачі від стінки в навколишнє середовище, $\text{Вт/м}^2 \cdot \text{град}$;

$S_1/\lambda_1, S_2/\lambda_2$ – термічний опір шарів багат шарової стінки;

S – товщина шару, м;

λ – коефіцієнт теплопровідності шару матеріалу при середній температурі по масі, $\text{Вт/м} \cdot \text{град}$;

F – площа поверхні, що передає тепло, м^2 .

Коефіцієнт теплопередачі від газів до стінки в робочому просторі печі складається з наступних коефіцієнтів:

$$\alpha_1 = \alpha_k + \alpha_{\text{пром}}, \text{Вт/м}^2 \cdot \text{град}, \quad (2.10)$$

де α_k – коефіцієнт тепловіддачі конвекцією;

$\alpha_{\text{пром}}$ – коефіцієнт тепловіддачі випромінюванням.

$$\alpha_{ном} = \frac{Q_{ном.}}{t_{газ} - t_1}, \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град}, \quad (2.11)$$

Тут $\alpha_{ном}$ – тепловий потік від газів до стінки, Вт ;

$t_{газ} - t_1$ – різниця між середньою температурою газу й температурою стінки усередині печі (каналу), град .

При визначенні $\alpha_{луч}$ необхідно задаватися температурою внутрішньої поверхні стінки $t_{газ}$ або визначати її по формулах. Однак, якщо температура t_1 знайдена (або прийнята для розрахунку), те втрата тепла через стінки печі розраховується за формулою:

$$Q = \frac{3,6}{\frac{S_1}{\lambda_1} + \frac{S_2}{\lambda_2} + \dots + \frac{1}{\alpha_2}} (t_1 - t_{нав}) \cdot F, \text{ кДж/год}, \quad (2.12)$$

Приклад розрахунку

Визначити годинну втрату тепла через стінку й знайти розподіл температур по товщині стінки при стаціонарному стані.

Товщина стінки – шар шамоту $S_1 = 460 \text{ мм}$ і шар теплової ізоляції (діатомітова цегла) $S_2 = 115 \text{ мм}$. Середня температура $t_l = 1300 \text{ }^\circ\text{C}$. Температура навколишнього повітря $t_{окр} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$. Коефіцієнт тепловіддачі від стінки в навколишнє середовище $\alpha_{окр} = 18 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град}$.

Для визначення коефіцієнтів теплопровідності шарів багат шарової стінки необхідно задатися температурами на границі між шарами або середніми по масі шаруючи з наступною перевіркою.

Для першого наближення можна прийняти наступні середні температури шарів: $t_{cp1} = 0,8 t_l$; $t_{cp2} = 0,5 t_{cp1}$, тоді $t_{cp1} = 0,8 \cdot 1300 = 1040 \text{ }^\circ\text{C}$; $t_{cp2} = 0,5 \cdot 1040 = 520 \text{ }^\circ\text{C}$.

Знаходимо коефіцієнт теплопровідності:

- для шамоту $\lambda_1 = 1,37 \text{ Вт/м} \cdot \text{град}$,
- для діатоміту $\lambda_2 = 0,24 \text{ Вт/м} \cdot \text{град}$.

Термічні опори становлять:

$$S_1/\lambda_1 = 0,46/1,37 = 0,335; S_2/\lambda_2 = 0,115/0,24 = 0,478; 1/\alpha_{окр} = 1/18 = 0,055$$

Втрата тепла через 1 м² стінки:

$$q = \frac{3,6 \cdot (1300 - 20) \cdot 1}{0,335 + 0,478 + 0,055} = 5420 \text{ кДж} / \text{м}^2 \cdot \text{год}$$

Відповідь. Годинна втрата тепла через стінку, що складається із шару шамоту, товщиною 460 мм і діатомітової теплоізоляції, товщиною 115 мм, становить 5 420 кДж/м²·год.

Контрольні завдання

Варіант 1

Розрахувати втрати тепла через 10 м² багатошарової стінки.

Товщина шарів:

- шар шамоту $S_1 = 380$ мм;
- шар динасу $S_2 = 400$ мм.

Середня температура: $t_1 = 1370$ °С

Температура шарів: $t_{ср1} = 0,75t_1$ °С; $t_{ср2} = 0,35t_{ср1}$ °С;

Температура навколишнього повітря: $t_{нав} = 20$ °С.

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки в навколишнє середовище:

$$\alpha_{нав} = 20 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{град}$$

Коефіцієнт теплопровідності:

- для шамоту $\lambda_1 = 1,04 + 0,00015t_1$;
- для динасу $\lambda_2 = 0,58 + 0,00043t_{ср1}$.

Варіант 2

Розрахувати втрати тепла через 1 м² багатошарової стінки.

Товщина шарів:

- шар динасу $S_1 = 400$ мм;
- шар діатоміту $S_2 = 250$ мм;
- шар теплоізоляції (шлакова вата) $S_3 = 100$ мм.

Середня температура: $t_1 = 1\,300\text{ }^{\circ}\text{C}$;

Температура шарів: $t_{cp1} = 0,8t_1\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_{cp2} = 0,4t_{cp1}\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_{cp3} = 0,35t_{cp2}\text{ }^{\circ}\text{C}$;

Температура навколишнього повітря: $t_{нав} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки в навколишнє середовище:

$$\alpha_{нав} = 17\text{ Вт/м}^2\cdot\text{град.}$$

Коефіцієнт теплопровідності:

- для динасу $\lambda_1 = 0,58 + 0,00043t_1$;
- для діатоміту $\lambda_2 = 0,27 + 0,00023t_{cp1}$;
- для шлакової вати $\lambda_3 = 0,065 + 0,00035t_{cp2}$.

Варіант 3

Розрахувати втрати тепла через 5 м^2 багатошарової стінки.

Товщина шарів:

- шар муліту $S_1 = 280\text{ мм}$;
- шар шамоту $S_2 = 350\text{ мм}$;
- шар теплоізоляції (глиняна цегла) $S_3 = 120\text{ мм}$.

Середня температура: $t_1 = 1\,250\text{ }^{\circ}\text{C}$;

Температура шарів: $t_{cp1} = 0,7t_1\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_{cp2} = 0,45t_{cp1}\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_{cp3} = 0,6t_{cp2}\text{ }^{\circ}\text{C}$;

Температура навколишнього повітря: $t_{нав} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки в навколишнє середовище:

$$\alpha_{нав} = 19\text{ Вт/м}^2\cdot\text{град}$$

Коефіцієнт теплопровідності:

- для муліту $\lambda_1 = 2,96 - 0,0011t_1$;
- для шамоту $\lambda_2 = 0,61 + 0,00018t_{cp1}$;
- для глиняної цегли $\lambda_3 = 0,47 + 0,00051t_{cp2}$;

Варіант 4

Розрахувати втрати тепла через 20 м^2 багатошарової стінки.

Товщина шарів:

- шар хромомagneзито́вої цегли $S_1 = 300\text{ мм}$;
- шар динасу $S_2 = 400\text{ мм}$;
- шар теплоізоляції (діатомітова цегла) $S_3 = 180\text{ мм}$.

Середня температура: $t_1 = 1\,900\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Температура шарів: $t_{cp1} = 0,85t_1\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_{cp2} = 0,65t_{cp1}\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_{cp3} = 0,4t_{cp2}\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Температура навколишнього повітря: $t_{нав} = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки в навколишнє середовище:

$\alpha_{нав} = 25\text{ Вт/м}^2\cdot\text{град.}$

Коефіцієнт теплопровідності:

– для хромомагнезиту $\lambda_1 = 2,0 - 0,00035t_1$;

– для динасу $\lambda_2 = 1,07 + 0,00093t_{cp1}$;

– для діатоміту $\lambda_3 = 0,27 + 0,00023t_{cp2}$.

Варіант 5

Розрахувати втрати тепла через 100 м^2 багатошарової стінки.

Товщина шарів:

– шар шамоту $S_1 = 450\text{ мм}$;

– шар напівкислої цегли $S_2 = 350\text{ мм}$;

– шар теплоізоляції (шлакова вата) $S_3 = 120\text{ мм}$;

Середня температура: $t_1 = 1380\text{ }^{\circ}\text{C}$

Температура шарів: $t_{cp1} = 0,65t_1\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_{cp2} = 0,65t_{cp1}\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_{cp3} = 0,5t_{cp2}\text{ }^{\circ}\text{C}$;

Температура навколишнього повітря: $t_{нав} = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки в навколишнє середовище:

$\alpha_{нав} = 18\text{ Вт/м}^2\cdot\text{град.}$

Коефіцієнт теплопровідності:

– для шамоту $\lambda_1 = 0,70 + 0,00064t_1$;

– для напівкислої цегли $\lambda_2 = 0,85 + 0,00040t_{cp1}$;

– для шлакової вати $\lambda_3 = 0,065 + 0,00035t_{cp2}$.

Варіант 6

Розрахувати втрати тепла через 2 м^2 багатошарової стінки.

Товщина шарів:

– шар силіманітової цегли $S_1 = 360\text{ мм}$;

– шар шамоту $S_2 = 380\text{ мм}$;

– шар теплоізоляції (глиняна цегла) $S_3 = 150\text{ мм}$;

Середня температура: $t_1 = 1480\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Температура шарів: $t_{cp1} = 0,78t_1\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_{cp2} = 0,65t_{cp1}\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_{cp3} = 0,6t_{cp2}\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Температура навколишнього повітря: $t_{нав} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки в навколишнє середовище:

$\alpha_{нав} = 22\text{ Вт/м}^2\cdot\text{град.}$

Коефіцієнт теплопровідності:

- для силіманіту $\lambda_1 = 1,66 - 0,00018t_1$;
- для шамоту $\lambda_2 = 0,61 + 0,00018t_{cp1}$;
- для глиняної цегли $\lambda_3 = 0,47 + 0,00051t_{cp2}$.

Варіант 7

Розрахувати втрати тепла через 7 м^2 багатошарової стінки.

Товщина шарів:

- шар корундових блоків $S_1 = 290\text{ мм}$;
- напівкислої цегли $S_2 = 400\text{ мм}$;
- шар теплоізоляції (діатомітової цегла) $S_3 = 170\text{ мм}$;

Середня температура: $t_1 = 1370\text{ }^{\circ}\text{C}$

Температура шарів: $t_{cp1} = 0,8t_1\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_{cp2} = 0,6t_{cp1}\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_{cp3} = 0,45t_{cp2}\text{ }^{\circ}\text{C}$;

Температура навколишнього повітря: $t_{нав} = 18\text{ }^{\circ}\text{C}$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки в навколишнє середовище:

$\alpha_{нав} = 20\text{ Вт/м}^2\cdot\text{град.}$

Коефіцієнт теплопровідності:

- для корунду $\lambda_1 = 2,1 + 0,00215t_1$;
- для напівкислої цегли $\lambda_2 = 0,85 + 0,00040t_{cp1}$;
- для діатоміту $\lambda_3 = 0,27 + 0,00023t_{cp2}$.

Варіант 8

Розрахувати втрати тепла через 50 м^2 багатошарової стінки.

Товщина шарів:

- шар динасу $S_1 = 450\text{ мм}$;
- шар шамоту $S_2 = 400\text{ мм}$;
- шар теплоізоляції (діатомітова цегла) $S_3 = 150\text{ мм}$.

Середня температура: $t_1 = 1\,200\text{ }^{\circ}\text{C}$

Температура шарів: $t_{cp1} = 0,7t_1\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_{cp2} = 0,5t_{cp1}\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_{cp3} = 0,4t_{cp2}\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Температура навколишнього повітря: $t_{нав} = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки в навколишнє середовище:

$$\alpha_{нав} = 17\text{ Вт/м}^2\cdot\text{град}$$

Коефіцієнт теплопровідності:

- для динасу $\lambda_1 = 0,81 + 0,00076t_1$;
- для шамоту $\lambda_2 = 0,21 + 0,00043t_{cp1}$;
- для діатоміту $\lambda_3 = 0,27 + 0,00023t_{cp2}$;

Варіант 9

Розрахувати втрати тепла через 1 м^2 багатошарової стінки.

Товщина шарів:

- шар муліту $S_1 = 350\text{ мм}$;
- шар динасу $S_2 = 400\text{ мм}$;
- шар шамоту $S_3 = 300\text{ мм}$;

Середня температура: $t_1 = 1650\text{ }^{\circ}\text{C}$

Температура шарів: $t_{cp1} = 0,85t_1\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_{cp2} = 0,7t_{cp1}\text{ }^{\circ}\text{C}$; $t_{cp3} = 0,45t_{cp2}\text{ }^{\circ}\text{C}$;

Температура навколишнього повітря: $t_{нав} = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки в навколишнє середовище:

$$\alpha_{нав} = 24\text{ Вт/м}^2\cdot\text{град.}$$

Коефіцієнт теплопровідності:

- для муліту $\lambda_1 = 2,96 - 0,0011t_1$;
- для динасу $\lambda_2 = 1,07 + 0,00093t_{cp1}$;
- для шамоту $\lambda_3 = 0,7 + 0,00064t_{cp2}$;

Варіант 10

Розрахувати втрати тепла через 80 м^2 багатошарової стінки.

Товщина шарів:

- шар напівкислої цегли $S_1 = 500\text{ мм}$;
- шар глиняної цегли $S_2 = 400\text{ мм}$.

Середня температура: $t_1 = 1270\text{ }^{\circ}\text{C}$

Температура шарів: $t_{cp1} = 0,75t_1$ °C; $t_{cp2} = 0,55t_{cp2}$ °C.

Температура навколишнього повітря: $t_{нав} = 25$ °C.

Коефіцієнт тепловіддачі від стінки в навколишнє середовище:

$\alpha_{нав} = 20$ Вт/м²·град.

Коефіцієнт теплопровідності:

– для напівкислої цегли $\lambda_1 = 0,85 + 0,00040t_1$;

– для глиняної цегли $\lambda_2 = 0,47 + 0,00051t_{cp1}$.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Матвеев М. А. Расчеты по химии и технологии стекла / М. А. Матвеев, Г. М. Матвеев, Б. Н. Френкель. – М. : Стройиздат, 1972. – 240 с.
2. Дудеров Ю. Г. Расчеты в технологии керамики : справ. пособ. / Ю. Г. Дудеров, И. Г. Дудеров. – М. : Стройиздат, 1973. – 80 с.
3. Масленникова Г. Н. Основы расчета составов масс и глазурей в электрокерамике : справ. пособ. / Г. Н. Масленникова, Ф. Я. Харитонов. – М. : Энергия, 1978. – 144 с.
4. Технология эмали и защитных покрытий : учеб. пособ. / Л. Л. Брагина, А. П. Зубехин, Я. И. Белый и др. ; под ред. Л. Л. Брагиной, А. П. Зубехина. – Харьков : НТУ «ХПИ», 2003. – 484 с.
5. Химическая технология керамики : учеб. пособ. / И. Я. Гузман, В. В. Балкевич, А. В. Беляков и др. – М. : ООО РИФ «Стройматериалы», 2003. – 496 с.
6. Масленникова Г. Н. Сырьевые материалы и расчет масс высоковольтного фарфора : справ. пособ. / Г. Н. Масленникова, А. Ф. Бученкова. – М. : Информэлектро, 1970. – 70 с.
7. Крупа А. А. Химическая технология керамических материалов: учеб. пособ. / А. А. Крупа, В. С. Городов – К. : Вища школа, 1990. – 399 с.
8. Августиник А. И. Керамика : учеб.пособ. / А. И. Августиник– М. : Стройиздат, 1975. – 592 с.

Таблиця А1 – Хімічний склад глинистої сировини

№	Назва сировини	Вміст компонентів, мас. %								Вогне- тривкість
		в.п.п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ +TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	
Глини України										
1	Часів - Ярська глина Донецької обл.	9,39	51,66	32,06	0,81	0,85	0,61	2,44	1,57	1580 – 1730
2	Веселовська глина (ТОВ «Глини Донбасу»)	5,2	69,9	19,10	2,69	0,52	0,50	2,48-	0,41-	1580 – 1710
3	Дружківська глина Донецької обл.	11,41	57-61	29,95	2,1	0,8	0,43	2,5	0,9	1580 – 1730
4	Андріївська глина Донецької обл (ТОВ «Веско»):									
	«Екстра»	11,00	60,00	34,00	1,50	0,50	0,60	2,10	0,55	1710
	«Прима»	10,00	60,00	30,00	2,55	0,50	0,60	2,10	0,55	1710
	«Гранітлік»	8,50	65,00	28,00	2,50	0,50	0,60	2,10	0,50	1690
	«Керамік»	7,20	70,00	23,00	2,60	0,50	0,40	2,00	0,40	1630
	«Технік-1»	8,30	65,00	27,00	3,50	0,50	0,60	2,00	0,40	1630
	«Технік-2»	7,20	70,00	23,00	3,50	0,50	0,40	2,00	0,40	1590
5	Новорайська глина Донецької обл.									
	ДН-0	9,87	51,36	32,72	1,69	0,76	0,75	1,06	1,00	1580 – 1730
	ДН-1	9,95	51,59	32,25	2,24	0,74	0,78	1,45	1,00	
	ДН-2	9,29	54,25	30,11	3,20	0,74	0,78	1,26	0,90	
	ДНПК-1	7,41	60,25	24,59	4,02	0,75	0,75	2,02	0,40	
6	Полозька глина Запорізької обл.									
	ПЛГ-1	12,96	49,30	34,46	2,23	0,15	0,19	0,33	0,30	1610 – 1730
	ПЛГ-2	11,71	54,68	29,21	1,93	1,03	0,60	0,31	0,18	
	ПЛГ-3	10,9	57,0	27,94	2,08	1,08	0,38	0,28	0,21	
7	П'ятихатська глина Дніпропетровської обл.									
	ПГ-1	10,69	55,50	28,90	1,20	0,60	1,30	0,60	0,70	1580 – 1750
	ПГ-2	12,22	56,20	28,40	1,00	0,90	1,00	0,40	0,30	

Продовження табл. А1

№	Назва сировини	Вміст компонентів, мас. %								Вогне- тривкість
		в.п.п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ +TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	
Глини країн СНД										
8	Латненська глина ЛТ-1 (РФ, Воронежська обл.)	12,44– 9,73	48,10– 49,90	35,08– 34,40	2,81–2,18	0,49– 1,24	0,16– 0,09	0,23– 0,05	0,21– 0,82	1750– 1670
9	Печорська глина (РФ, Псковська обл.)	4,50– 7,00	51,50– 56,10	17,0– 26,00	3,30–4,83	0,32	1,49	4,40	0,26	1350– 1470
10	Трошківська глина (РФ, Іркутська обл.)	4,00– 4,50	48,00– 48,50	37,0– 34,0	0,45–0,66	1,10– 1,30	2,50– 3,00	2,00– 2,20	0,60– 0,70	1640– 1740
11	Лукошинська глина (РФ, Липецька обл.)	6,00– 8,00	60,00– 64,00	19,00	4,22–5,80	0,3– 2,10	–	0,5– 1,80	0,1– 0,20	1430– 1570
12	Чумаківська глина (РФ, Ростовська обл.)	4,58– 7,59	34,32– 68,51	18,45– 24,30	1,96–8,95	0,52– 4,07	0,79– 2,17	1,86– 4,02	0,18– 1,98	1420– 1580
13	Тулунська глина (РФ, Іркутська обл.)	6,28– 5,73	50,79– 64,10	21,40– 28,30	2,30–5,35	0,40– 1,70	0,20– 1,08	0,40– 1,60	0,10– 0,30	1470– 1700
14	Федорівська глина, (РФ, Ростовська обл.)	8,20– 8,80	51,0– 58,80	31,0– 32,00	1,10–2,70	0,2– 1,02	0,50– 0,90	1,80– 3,10	0,37– 1,03	1500– 1700
15	Берлінська глина (РФ, Челябінська обл.)	9,00– 2,00	49,00– 55,35	26,44– 33,03	2,48–7,08	0,10– 0,69	0,24– 1,00	0,93– 1,39	0,25– 0,30	1580– 1710
16	Кумакська глина (РФ, Челябінська обл.)	8,47– 9,17	55,61– 62,19	21,89– 30,56	1,42–6,73	0,50– 1,00	0,54– 0,69	0,31– 0,36	0,02– 0,69	1580– 1740
17	Нижньоуфельська глина (РФ, Челябінська обл.)	7,60– 9,50	54,00– 77,00	18,00– 41,00	1,16–5,00	0,20– 0,30	0,60– 0,80	–	–	1610– 1730
18	Глина родовища «Городок» (Білорусь)	4,00– 2,28	53,93– 72,16	17,00– 13,00	4,27–6,41	0,90– 1,90	0,35– 0,96	–	–	1380– 1550
19	Гомельська глина (Білорусь)	3,42– 5,80	75,79– 78,20	8,09– 10,30	3,98–4,52	2,51– 2,75	1,00– 1,27	2,05– 2,27	–	1390– 1580
20	Ціліноградська глина (Казахстан, Астанавська обл.)	7,70–9,4	54,60– 60,00	25,60– 29,10	2,70–3,00	0,60– 0,80	1,40– 1,60	0,80– 1,80	0,10– 0,20	1520– 1700

Продовження табл. А1

№	Назва сировини	Вміст компонентів, мас. %								Сума
		в.п.п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ +TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	
Каоліни України										
1	Глуховецький каолін (Вінницька обл.): каолін первинний каолін мокрого збагачення (МЗ) каолін сухого збагачення (СЗ) каолін (КС-1) каолін флотатійного збагачення (КФ-3)	8,70 12,81 12,83 13,50 13,0	66,70 47,28 47,13 45,40 47,00	22,34 37,69 37,54 38,20 36,00	1,50 0,38 0,41 0,90 1,40	0,60 0,84 0,62 1,21 0,20	0,74 0,36 0,42 — 0,12	— 0,27 0,34 0,50 1,00	— сліди сліди 0,20 0,06	100,5 99,63 99,31 100,73 98,56
2	Присянівський каолін (Дніпропетровська обл.): каолін первинний (П) каолін мокрого збагачення (МЗ) каолін гранульований (КФН-2) каолін грудковий (КФН-3)	4,26 13,0 13,6 13,5	76,14 46,11 44,64 48,0	18,05 38,28 38,38 36,00	0,77 0,50 1,22 1,4	0,53 0,92 1,18 0,90	0,61 0,47 0,20 —	— 0,49 0,43 —	— сліди 0,42 —	10,36 99,77 100,07 99,8
3	Новоселівський каолін (Черкаська обл), вторинний	13,39	46,48- 58,0	37,16	0,70	0,42	0,35	0,53	0,01	100,49
4	Полозський каолін (Запорізька обл.), вторинний ПЛК-В ПЛК-0	12,84 12,00	48,20 51,66	35,80 32,53	1,54 2,15	0,72 0,98	0,28 0,16	0,33 0,42	0,10 0,08	100,17 100,10
5	Великогадомський (Вінницька обл.) первинний збагачений	8,85 13,10	63,8 47,10	26,1 37,7	1,36 0,90	0,05 0,02	0,08 0,07	0,22 0,36	0,03 0,03	100,49 99,28
6	Жежелевський (Вінницька обл.) збагачений	12,9	45,1	36,20	0,65	0,06	0,04	0,09	0,03	95,07
7	Турбовський (Вінницька обл.) збагачений	13,2	47,30	35,30	0,92	1,29	0,03	0,10	0,02	98,16
8	Паланківський (Вінницька обл.) вторинний	14,24	45,27	38,26	0,51	0,30	сліди	0,20	сліди	98,78
9	Лужний каолін-сирець Грузливецький (Хмельницька обл.)	5,00	64,20	21,70	0,98	0,09	—	7,10	0,30	99,36
10	Лужний каолін Майдан-Вільський (Хмельницька обл.)	4,56	59,02	27,27	1,66	0,33	0,25	2,58	0,13	95,80
11	Лужний каолін Дубровський (Житомирська обл.)	5,54- 5,95	72,96- 74,61	16,53- 20,37	0,92- 1,77	0,35- 0,46	0,11- 0,25	4,08- 5,95	0,70- 0,98	—
12	Лужний каолін Єкатеринівський (Донецька обл.)	2,96- 3,00	72,82- 73,70	15,76- 16,38	0,44- 0,74	0,66- 0,91	0,46- 0,48	5,21- 5,27	0,40- 0,79	—

Продовження табл. А1

№	Назва сировини	Вміст компонентів, мас. %								Сума	
		в.п.п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ +TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O		
Каоліни країн СНД											
13	Киштимський каолін (РФ)	первинний збагачений	10,47 13,71	58,62 46,02	29,26 38,52	1,28 0,99	0,21 0,26	0,1 —	0,29 —	0,09 —	100,23 99,50
14	Владимирський каолін (РФ)	вторинний	12,51	42,27	36,7	0,61	0,30	0,33	0,39	0,38	93,49
15	Еленінський каолін (РФ)	збагачений	13,23	47,24	36,81	1,32	0,25	5,10	0,31	0,10	104,36
16	Олексіївський (Казахстан)	збагачений	12,20	48,02	38,00	1,70	0,60	0,45	1,50	0,11	102,58
Каоліни країн далекого зарубіжжя											
17	Мейсенський каолін (Німеччина)	первинний збагачений	4,40 12,51	79,92 46,16	13,96 38,68	0,32 0,21	0,42 0,42	0,08 Слди	1,25 1,36	— 0,14	100,35 99,48
18	Кемлицький каолін (Німеччина)	первинний збагачений	6,15 10,52	76,24 58,30	16,28 29,31	1,38 0,48	0,12 слди	0,12 0,11	— 1,26	— —	100,29 99,98
19	Корнуельський каолін (Великобританія)	збагачений	12,12	48,86	38,10	0,30	0,46	0,48	0,30	1,18	101,80
20	Каолін Цетлицький (Чехія)	збагачений	12,16	49,67	36,47	0,97	0,36	—	0,51	0,08	100,22
21	Каолін штата Джорджія (США)	збагачений	13,60	45,12	36,64	1,4	0,41	0,25	0,59	—	98,01
22	Каолін Маг-Та (Китай)		2,10	54,55	30,27	0,90	0,87	0,09	3,82	—	92,60
23	Каолін Кінг-Те-Чін (Китай)		1,96	73,55	18,98	—	1,58	0,08	2,09	0,46	98,70

Таблиця А2 – Хімічний склад польових шпатів

п.п	Назва сировини	Польові шпати та пегматити України										кварц
		в.п.п	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ +TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O			
1	Пегматит Єлисейський (Запорізька обл.)	0,68–0,41	79,87–74,28	13,08–15,49	1,0–0,38	2,22–0,47	0,41–0,14	3,57–4,53	4,31–4,30	30,52		
2	Петалітова руда Полохівська (Кіровоградська обл.)	Li ₂ O 1,25	74,8	15,1	0,16	0,37	0,09	2,80	3,55	36,14		
3	Пегматит Тахтаєвський (Полтавська обл.) збагачений незбагачений	0,5–1,0 0,5	71,34–76,80 71,3	15,46–13,77 15,46	0,25–0,37 1,63	0,6–0,07 0,6	0,7–1,72 2,22	2,82 3,3	4,67 4,68	27,87–35,32 26,57		
4	Польовий шпат флотатійний ППШФ	0,21	69,59	18,22	0,12	0,4	0,19	4,34	6,93	11,28		
5	Польовий шпат Токарівський (Житомирська обл.)	0,54–0,84	76,24–75,10	14,40–14,60	0,53–0,23	0,56–0,46	0,15	3,83–6,07	3,31–2,88	31,28–36,71		
6	Пегматит «Гірський» (Держинський р-н, Житомирська обл.)	1,12	74,73–73,70	13,9–16,20	0,42–0,80	0,62–0,56	0,18–0,56	6,82–5,40	2,92–1,41	29,66–35,40		
7	Пегматит Полонський (Хмельницька обл.)	0,35	70,4	15,8	0,3	0,26	0,27	10,5	2,2	16,0		
8	Пегматит «Балка великого табору» (Запорізька обл.)	1,17	71,43–75,70	14,85–14,47	0,86–0,34	0,83–0,82	0,60–0,12	7,14–3,94	2,59–4,92	25,70–29,57		
9	Пегматит Волновахсько-Бердянський (Запорізька обл.)	0,42–0,52	64,30–68,40	19,91–22,40	1,3–0,5	0,18–0,76	0,55	7,60	13,30	8,70–9,87		
10	Пегматит Маріупольський (Запорізька обл.)	0,12–0,24	65,40–67,60	18,10–19,40	0,05–0,15	0,15–0,33	–	10,80–7,4	3,18–5,82	3,35–4,22		
11	Пегматит Новополтавський (Запорізька обл.)	0,77–1,74	69,59–70,72	18,92–15,49	1,57–1,96	1,75–1,94	0,58–0,43	3,72–4,16	4,43–3,50	11,28–28,67		
12	Пегматит Грузливецький (Хмельницька обл.)	0,64	71,96	16,88	0,40	0,36	–	5,58	4,17	21,71		
13	Пегматит Лозуватський (Кіровоградська обл.) кусовий збагачений ППШМ збагачений КПШМ	0,38 0,29 0,31	74,89 66,25 76,71	13,85 18,35 12,66	0,49 0,15 0,16	0,74 0,55 0,57	0,24 0,21 0,19	5,70 9,32 5,06	3,33 3,40 3,03	31,27 7,7 37,17		

Продовження табл. А2

№ пп	Назва сировини	Вміст оксидів, мас. %								Вільний кварц
		в.п.п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ +TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	
Польові шпати та пегматити країн СНД										
14	Нефеліновий концентрат апатиту (Росія)	0,95– 1,47	44,70– 44,40	30,73– 27,95	3,31–3,04	1,13– 1,81	0,49– 0,30	6,34– 12,68	10,0– 8,0	–
15	Чупінський польовий шпат (Росія)	0,28– 0,38	64,7– 67,2	18,5– 14,2	0,10–0,11	0,67– 0,19	0,15– сліди	13,00– 12,95	2,6	0– 7,37
16	Пегматит «Чалм-Озеро» (Росія)	0,19	71,6	16,3	0,17	0,74	0,21	7,38	3,31	20,77
17	Пегматит Кондопозький (Росія)	0,25– 3,39	73,08– 72,72	15,23– 15,46	1,17–0,42	0,68– 1,53	0,10– 0,14	6,20– 5,33	3,0– 3,53	27,26– 27,72
18	Лянгарський польовий шпат (Узбекистан)		74,38	15,08	0,16	0,31	сліди	4,55	3,55	31,28
19	Білогірський польовий шпат (Казахстан) кусковий калієвий молотий натрієвий	0,45 0,37	67,60 68,8	17,62 20,0	0,17 0,15	0,38 0,3	0,19 –	15,0 2,5	3,20 8,2	0– 7,15
20	Талдикурганський польовий шпат (Казахстан)	0,21	67,27	18,42	0,19	0,45	0,21	10,18	3,11	7,57
Польові шпати та пегматити країн далекого зарубіжжя										
21	Фінський польовий шпат	0,28– 0,17	68,7– 73,0	20,05– 15,71	0,16–0,10	0,81– 0,46	0,1– 0,09	4,37– 0,48	5,53– 3,42	12,55– 17,8
22	Турецький польовий шпат	0,33– 0,25	70,32– 68,6	18,7– 19,6	0,48–0,39	0,64– 0,76	0,18– 0,14	0,29– 0,27	9,0– 10,0	7,4– 15,0
23	Норвезький польовий шпат	0,18	64,23	19,47	0,02	0,85	–	11,48	3,77	–

Таблиця А3 – Хімічний склад мінеральної сировини

№	Назва сировини	Сировинні матеріали України								Сума
		в.п.п.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃ +TiO ₂	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	
1	Граніт Кременчуцький (Полтавська обл.)	0,75	71,58	14,48	2,35	1,42	0,73	4,92	3,20	99,43
2	Граніт Коростенський (Житомирська обл.)	0,68	73,2	12,6	3,64	0,91	0,49	5,21	2,91	99,64
3	Граніт Грузливецький (Хмельницька обл.)	0,81	73,97	16,08	0,49	0,45	–	4,42	3,77	99,99
4	Граніт Лезніківський (Житомирська обл.)	0,57	76,25	11,62	2,27	0,87	0,20	4,36	3,20	100,0
5	Граніт Новоукраїнський (Кіровоградська обл.)	0,49	70,37	14,18	3,81	0,74	0,74	5,53	3,10	100,3
6	Граніт Шевченківський (Запорізька обл.) кусковий гранітний відсів	0,80–	71,90–	15,39–	1,36–	1,70–	0,50–	3,50–	4,36–	99,57–
		0,41	71,16	14,99	2,33	1,80	0,72	3,70	5,00	100,0
		0,77	71,82	11,68	1,77	0,96	0,59	3,78	3,10	99,68
7	Граніт Русавський (Вінницька обл.)	0,44	75,76	15,54	0,61	1,21	0,25	5,12	3,30	102,23
8	Граніт Митрофанівський (Кіровоградська обл.)	0,51	76,05	12,28	1,81	1,01	0,22	4,34	3,08	99,7
9	Граніт Вищеолчедавський (Вінницька обл.)	0,45	73,50	14,66	1,75	1,52	0,31	7,21	2,35	101,75
10	Граніт Дніпровський (Кіровоградська обл.)	0,43	72,95	14,43	1,53	1,26	0,50	4,19	4,0	99,5
11	Граніт Соколовський (Житомирська обл.)	0,63	69,00	15,00	4,80	1,70	1,40	4,20	2,90	99,63
12	Граніт Тахтаєвський (Полтавська обл.)	0,50	71,34	15,46	0,25	0,6	0,7	9,02	–	97,87
13	Граніт Кальчинський (Донецька обл.) відсів	1,01	59,30	17,30	7,00	3,00	1,20	5,10	3,60	97,51
14	Граніт Каранський (Донецька обл.)	0,89	71,70	15,70	2,38	2,9	–	9,4	–	102,97
15	Лужний сієніт Старокримський (Донецька обл.)	0,72	68,80	15,10	3,04	1,07	0,88	4,30	3,00	96,91
16	Лужний сієніт Октябрьський (Донецька обл.)	3,01	64,40	15,04	6,84	2,79	0,89	2,80	3,60	99,37
17	Мігматит Грузливецький (Хмельницька обл.)	1,36	66,40	17,20	4,52	1,61	1,23	2,75	3,55	98,62
18	Перліт Береговський (Закарпатська обл.)	5,32– 6,01	72,48– 64,1	13,44– 11,20	2,1–1,0	0,99– 1,50	0,30– 0,50	3,38– 4,40	1,95– 1,75	–
19	Волластоніт синтезований	–	57,13	–	0,77	39,03	0,53	9,6	–	107,06
20	Датолітовий концентрат (Росія)	8–10	40–45	1,5–2,0	3,0–4,0	34– 35	0,23	–	B ₂ O ₃ – 15– 16	–
21	Данбуритовий концентрат (Росія) ручне збагачення промислове збагачення	1,8 6,9	49,9 39,0	2,6 1,7	1,8 2,4	22,3 30,0	–	–	B ₂ O ₃ – 21,6 20,0	100 100

Виробничо-практичне видання

Методичні рекомендації
до виконання практичної, самостійної
та розрахунково-графічної роботи
з навчальної дисципліни

«ЕНЕРГО- ТА РЕСУРСОЗБЕРЕЖЕННЯ У ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВАХ»

*(для студентів для студентів 1 курсу денної форми навчання
другого (магістерського) рівня вищої освіти
за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія)*

Укладачі: **ВОРОНОВ** Геннадій Костянтинович,
САВВОВА Оксана Вікторівна,
СМИРНОВА Юлія Олегівна,
ФЕСЕНКО Олексій Ігорович

Відповідальний за випуск *І. С. Зайцева*

За авторською редакцією

Комп'ютерне верстання *Г. К. Воронов*

План 2020, поз. 100 М.

Підп. до друку 26.07.2020. Формат 60 × 84/16.

Друк на ризографі. Ум. друк. арк. 1,4.

Тираж 50 пр. Зам. № .

Видавець і виготовлювач :

Харківський національний університет
міського господарства імені О. М. Бекетова,
вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002.

Електронна адреса : rectorat@kname.edu.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи :

ДК № 5328 від 11.04.2017.